

7. Kalász H. Pharmaceutical Applications of TLC [Electronic resource] / H. Kalász, M. Báthori // LC-GC Europe. – 2001. – P. 1–8. – Mode of access : <http://www.chromatographyonline.com/lcgc/data/articlestandard/lcgeurope/182002/18098/article.pdf>
8. Planar Chromatography. A retrospective view for the third millennium / Editor Sz. Nyiredy. – Budakalasz, Hungary : Springer, 2001. – 614 p.
9. SCCS/1348/10. Opinion on parabens [Electronic resource] / Scientific Committee on Consumer Safety. – 14 December 2010, revision of 22 March 2011. – 2011. – Mode of access : [http://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/consumer\\_safety/docs/sccs\\_o\\_041.pdf](http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/consumer_safety/docs/sccs_o_041.pdf)
10. Validation of analytical procedures: text and methodology, Q2(R1). ICH harmonised tripartite guideline / International conference on harmonisation of technical requirements for registration of pharmaceuticals for human use, 2005. – 17 p.

**Єдаменко Дарія, Логінова Лідія. Розробка і валідація методики визначення парабенів у косметичній продукції методом тонкошарової хроматографії з міцелярними рухомими фазами.** Міцелярні розчини Твін-80 запропоновано використовувати як рухомі фази для розділення парабенів методом тонкошарової хроматографії на нормально-фазових пластинах. На цій основі створено методику виявлення та кількісного визначення метилпарабену в косметичній продукції. Аналітичним сигналом є площа хроматографічної плями, знайдена під час обробки зображення сканованої хроматограми. Виконано валідацію методики. З використанням індикатора еритрозину уточнено положення фронту міцелярної псевдофази на хроматограмах та виявлено особливості розподілу парабенів у хроматографічній системі з висхідним елюванням, зумовлені суттєвим утримуванням міцелярної псевдофази. Межам виявлення та кількісного визначення відповідають маси метилпарабену в плямі 0,63 та 0,94 мкг відповідно.

**Ключові слова:** парабени, тонкошарова хроматографія, міцелярна рухома фаза, Твін-80, валідація.

**Edamenko Daria, Loginova Lidia. Development and Validation of Methods of Parabens Determination in Cosmetic Products by Thin-layer Chromatography with Micellar Mobile Phases.** It was suggested to use the micellar solutions of Tween-80 as the mobile phase for separation of parabens by thin-layer chromatography on the normal-phase plates. On this basis, the method of detection and quantitative determination of methylparaben in cosmetics was developed. Analytical signal is the area of the chromatographic spots, which was estimated by image processing of the scanned chromatogram. The validation of method was performed. The location of the front of micellar pseudophase on the chromatograms was specified more exactly by use of indicator erythrosine. The peculiarities of the parabens distribution in a chromatographic system with ascending elution are revealed, which are caused by significant retention of the micellar pseudophase. Limits of detection and quantification are corresponded to mass of methylparaben in a spot 0,63 and 0,94 µg, respectively.

**Key words:** parabens, thin-layer chromatography, micellar mobile phase, Tween 80, validation.

Харьковский национальный университет  
имени В. Н. Каразина

Статья поступила в редколлегию  
20.05.2013 г.

УДК 543.33:543.55

Наталія Смик

### Інверсійно-вольтамперометричне визначення співіснуючих у природних водах форм плумбуму

Проведено порівняння результатів розрахунку вмісту співіснуючих у водах форм Pb із результатами його визначення ІВА методом в умовах, що не порушують їхньої природної рівноваги. Показано ефективність УФ-опромінення розчину в присутності  $\text{Fe}^{3+}$ – $\text{H}_2\text{O}_2$  систем для деструкції стійких комплексів із розчинними органічними речовинами. Розроблено методику окремого визначення загального вмісту Pb та вмісту його найбільш токсичних «вільних» форм із ГрВ 3 мкг/л.

**Ключові слова:** плумбум, співіснуючі форми, метод інверсійної вольтамперометрії.

**Постановка наукової проблеми та її значення.** Основне завдання аналітичного контролю екологічних об'єктів – отримання об'єктивної інформації про вміст речовин-токсикантів у навколиш-

ньому середовищі та про шляхи їх надходження. До групи найбільш небезпечних, а отже пріоритетних для спостереження, контролю та регулювання, належать важкі метали (ВМ): ртуть, кадмій, свинець, цинк тощо [10]. Збільшення концентрації ВМ у воді донних відкладі, біоті, призводить до зниження продуктивності водних екосистем та створює потенційну небезпеку для людини [8]. Для розуміння міграційного механізму та встановлення дійсного критерію токсичності ВМ недостатньо визначення лише валового їх вмісту [4; 6], є об'єктивна потреба в диференціюванні хімічних форм – окиснених, відновлених, метильованих, хелатованих – залежно від структури природних об'єктів. Установлено, що біологічна активність вільних (незакомплексованих) іонів та їх комплексних сполук істотно розрізняється [12; 17; 20]. Так, вільні іони металів (гідратовані іони, або аквакомплекси) проявляють токсичні властивості при концентраціях, нижчих за гранично допустимі (ГДК свинцю у водах рибогосподарських водойм 0,1 мг/л [2]), водночас метали, зв'язані в комплекси, особливо з деякими органічними речовинами природного походження, виводяться з харчового ланцюга та не становлять потенційної небезпеки для біоти. Токсичність змулених форм ВМ залежить значною мірою від особливостей їх поглинання біотою. Найбільшу токсичність проявляють розчинні, не зв'язані з органічними речовинами природного походження, форми [15; 16]. Змінний хімічний склад досліджуваного об'єкта та великий спектр можливих форм ВМ накладають жорсткі вимоги до методів їх визначення. Головні з них – висока чутливість, вибірковість та можливість проведення визначень без порушення вихідної рівноваги між окремими формами.

Більшість сучасних фізико-хімічних методів не завжди забезпечують одержання надійних результатів унаслідок стороннього впливу матриці зразка, обмеженої чутливості чи високої вартості [13; 14; 19]. Перспективними для вирішення цієї проблеми є вольтамперометричні методи [16; 18], зокрема анодна інверсійна вольтамперометрія (ІВА), оскільки вона дає змогу визначати валовий вміст ВМ, ідентифікувати та визначати форми їх міграції в природних водах [15]. Однак переважна більшість наведених у літературі даних стосовно розподілу співіснуючих форм ВМ отримана під час вольтамперометричних досліджень, проведених в умовах, які не характерні для природних вод (рН 2–4), тому ці результати не завжди відображають реальне співвідношення співіснуючих в об'єктах довкілля форм ВМ.

**Мета** нашого дослідження – оптимізація умов окремого визначення вільних та зв'язаних у комплекси з органічними й неорганічними лігандами форм свинцю в природних водах методом інверсійної вольтамперометрії без попереднього розділення.

**Матеріали й методи.** Під час дослідження використовували реагенти кваліфікації «ос.ч» та «чда» й бідистильовану воду. Вихідні розчини солей металів (0,1 моль/л) готували за наважкою та стандартизували комплексонометрично [5], менш концентровані розчини одержували з вихідних розбавленням бідистильованою водою або розчином відповідної кислоти безпосередньо перед виконанням експерименту. Розчин етилендіамінтетраацетату натрію (Трилон Б, ЕДТА) з концентрацією 1,0 ммоль/л готували розчиненням точної наважки препарату. Гумат натрію вилучали з ґрунтів за методикою [9].

Кислотність розчинів контролювали іонміром ІВ-74 (Гомель, Білорусь) зі скляним рН-чутливим електродом та хлоридсрібним електродом порівняння. Вольтамперометричні дослідження проводили із застосуванням аналізатора СТА (ООО «ЮМХ», Томськ, Росія) із ртутно-плівковим робочим електродом та 1 н хлоридсрібним електродом порівняння у кварцевих вольтамперометричних комірках. Опромінення розчинів проводили у фотомінералізаторі із застосуванням ультрафіолетової (УФ) лампи потужністю 11 Вт та діапазоном максимальної інтенсивності опромінення при  $\lambda = 200\text{--}300$  нм (ООО «ЮМХ», Томськ, Росія).

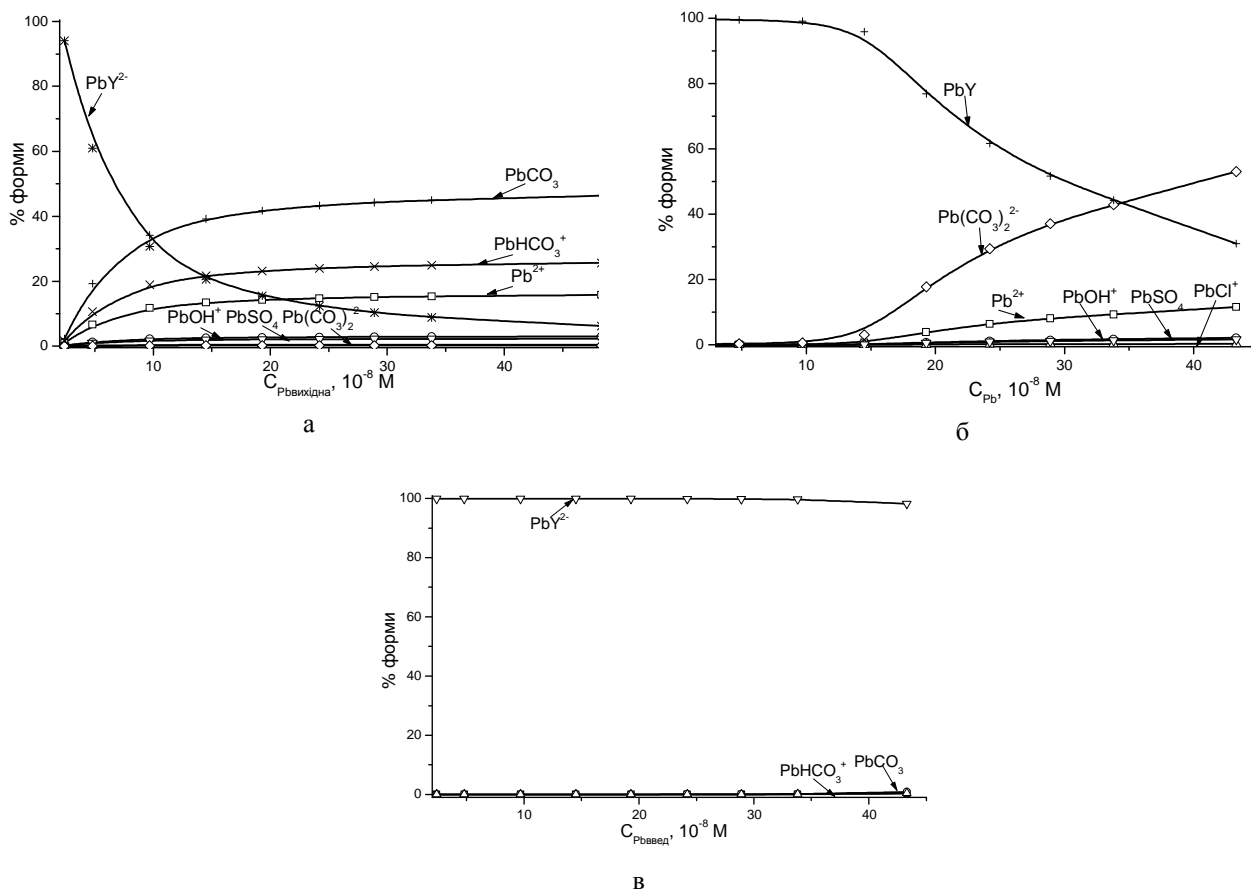
Вміст свинцю визначали методом анодної інверсійної вольтамперометрії з електрохімічним накопиченням при потенціалі  $-1200$  мВ, анодний пік реєстрували за лінійної розгортки потенціалу зі швидкістю 4 мВ/с у діапазоні потенціалів від  $-500$  до  $-200$  мВ. Розрахунки проводили методом добавок. Вплив кисню, який заважає, усували фотохімічним способом (УФ опромінення протягом 300 с у присутності 0,1 М мурашиної кислоти). Визначаючи вплив сторонніх речовин, порівнювали висоту піків анодного розчинення Рb за відсутності та в присутності різних концентрацій певного компонента. Концентрацію компонента, що зменшує висоту піку на 10 % і більше, вважали такою, що заважає.

Дослідження залежності ступеня вилучення свинцю ІВА методом від складу матриці зразка проводили в штучному розчині, що відповідає середньому складу води річки Дніпро [2]. Вміст

основних компонентів в імітаті, мг/л:  $\text{HCO}_3^-$  228;  $\text{SO}_4^{2-}$  80;  $\text{Cl}^-$  46;  $\text{Ca}^{2+}$  65;  $\text{Mg}^{2+}$  20;  $\text{Na}^+$  48; вміст ЕДТА та гумату натрію змінювали в широких межах. Природну воду відбирали з Дніпра в межах міста Києва. Штучний розчин або пробу природної води аналізували через місяць після введення добавки солі плумбуму.

Визначення проводили або зовсім без пробопідготовки, або після попередньої фотомінералізації чи «мокрого озонення». Фотомінералізацію проводили УФ опроміненням проби або протягом 1800 с у присутності 0,2 М натрієвої солі мурашиної кислоти (спосіб I), або протягом 900 с у присутності реактиву Фентона – суміші  $1 \cdot 10^{-4}$  М цитрату  $\text{Fe}^{3+}$  та  $1 \cdot 10^{-5}$  М  $\text{H}_2\text{O}_2$  (спосіб II). Для проведення «мокрого озонення» до проби (5,0–15,0 мл) додавали 1,0 мл концентрованої нітратної кислоти та 1,0 мл пергідролю (30 %  $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Розчин випаровували до вологих солей та розбавляли до потрібного об'єму бідистильованою водою.

Вміст співіснуючих у модельних розчинах форм плумбуму розраховували за допомогою комп'ютерної програми Visual MINTEQ4 з урахуванням складу та констант стійкості всіх можливих за цих умов комплексних сполук.



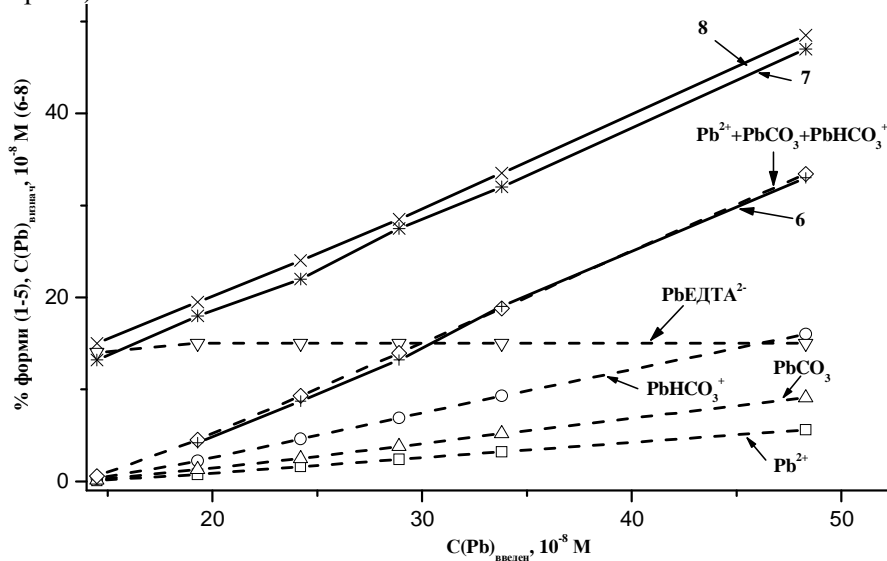
**Рис. 1.** Вплив концентрації Pb на розподіл вмісту його співіснуючих форм у модельному розчині. Склад, мг/л:  $\text{HCO}_3^-$  228;  $\text{SO}_4^{2-}$  80;  $\text{Cl}^-$  46;  $\text{Ca}^{2+}$  65;  $\text{Mg}^{2+}$  20;  $\text{Na}^+$  48; моль/л ЕДТА:  $3,0 \cdot 10^{-8}$  (а);  $1,5 \cdot 10^{-7}$  (б);  $5,0 \cdot 10^{-7}$  (в)

**Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.** Як відомо, плумбум міститься в природних водах у формі сполук із карбонат-, гідрокарбонат-, сульфат-і хлорид-іонами, комплексів із гуміновими та фульвокислотами. Для оптимізації умов їх визначення результати ІВА аналізу штучного розчину, що імітує склад природної води, порівнювали із результатами розрахунку вмісту кожної із співіснуючих форм. Для моделювання органічного складника було обрано ЕДТА, який містить комплексоутворювальні групи, що входять до складу природних розчинних органічних речовин (РОР). Застосування для цього природних гумінових речовин ускладнює розрахунки через значні розбіжності даних літератури щодо констант стійкості їхніх комплексів із Pb.

Із діаграм розподілу співіснуючих форм видно (рис. 1), що серед неорганічних комплексів Pb переважають карбонатні, що збігається з даними літератури [15]. При збільшенні вмісту ЕДТА відносний вміст неорганічних форм Pb зменшується і при співвідношенні Pb:ЕДТА = 1:20 найбільш токсичні, «вільні» форми зникають. Подальші дослідження проводили при таких співвідношеннях Pb:ЕДТА, при яких у розчині одночасно існує максимально можлива кількість форм металу.

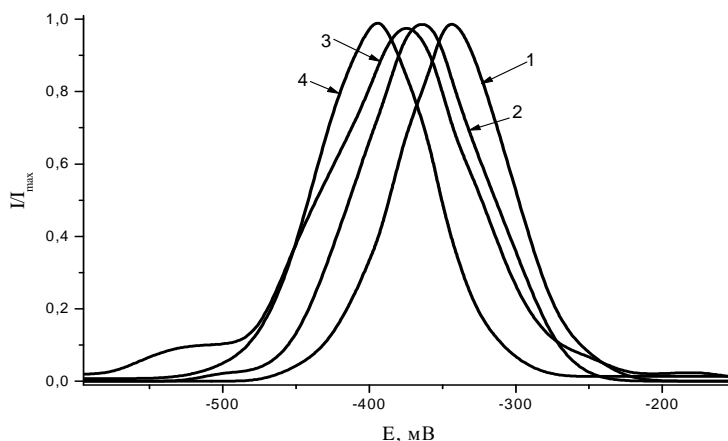
Для наближення умов ІВА визначення ВМ до умов їх існування в природних водах ми оптимізували методику [7] для визначення плумбуму при рН  $6,0 \pm 0,1$ . Видалення розчиненого кисню проводили фотохімічним методом – УФ-опромінення в присутності натрієвої солі мурашиної кислоти (0,3 моль/л) упродовж 300 с. Показано [1], що така обробка дає змогу перевести розчинений кисень в електронеактивну форму й майже не впливає розподіл співіснуючих форм плумбуму. За цих умов залежність величини максимального струму від умісту плумбуму в розчині лінійна в межах 2,5–80 мкг/л, рівняння ГГ  $I(\text{мкА}) = 0,133 + 54,749 \cdot C_{\text{Pb}^{2+}} (\text{мкг/л})$ ,  $r = 0,998$ , ГрВ = 3 мкг/л. Вивчення впливу макро- ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ), мікроелементів ( $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ) природних вод та органічних сполук (лимонна та винна кислоти, ЕДТА, РОР) показало, що найбільше визначенню Pb заважають  $\text{Fe}^{3+}$  ( $\geq 0,05$  мг/л), ЕДТА ( $\geq 0,07$  мг/л) та РОР. Вплив  $\text{Fe}^{3+}$  усували додаванням цитрату натрію. Вплив органічних компонентів імовірно пов'язаний з утворенням стійких комплексних сполук і його можна усунути лише за допомогою деструкції цих сполук.

Зіставлення результатів визначення вмісту плумбуму в штучних розчинах із результатами розрахунків вмісту його співіснуючих форм (рис. 2) свідчить про те, що за умов експерименту електрохімічну активність проявляють лише найбільш токсичні «вільні» форми плумбуму, не зв'язані та зв'язані в малостійкі комплекси з неорганічними лігандами (аква-, карбонат- та гідрокарбонат-іонами зокрема).



**Рис. 2.** Вміст основних співіснуючих у модельному розчині форм плумбуму (1–5) та результати його визначення ІВА методом без попередньої пробопідготовки (6) та після мінералізації: «мокре озолення» (7) та УФ-опромінення в присутності реактиву Фентона (8). Склад, мг/л:  $\text{HCO}_3^-$  228;  $\text{SO}_4^{2-}$  80;  $\text{Cl}^-$  46;  $\text{Ca}^{2+}$  65;  $\text{Mg}^{2+}$  20;  $\text{Na}^+$  48; 0,050 ЕДТА

Проблема видалення слідових кількостей органічних речовин, які спотворюють аналітичний сигнал, може бути розв'язана в процесі пробопідготовки із застосуванням хімічних та фізичних впливів на розчин. Переведення в електроактивну форму плумбуму, зв'язаного в стійкі комплексні сполуки із РОР, проводили і традиційним способом «мокрого» озолення, і фотохімічно, через опромінення проби УФ випромінюванням у присутності солей карбонових кислот або реактиву Фентона. Як видно з рисунка 3, в усіх випадках спостерігається переведення Pb в електроактивну форму та майже повне руйнування його стійких комплексів (рис. 2). Зважаючи на мінімальний час, простоту й екологічність, можливість об'єднання стадій мінералізації проби та дезактивації розчиненого кисню, оптимальним способом руйнування комплексних сполук Pb із РОР видається фотохімічна обробка проби в присутності реактиву Фентона (спосіб II). Подальші дослідження проводили саме таким чином.



**Рис. 3.** Нормовані вольтамперограми імітату річкової води залежно від попередньої обробки: «мокра мінералізація» (1); без обробки (2), фотомінералізація за способом I (3) та за способом II (4). Концентрації, мкг/л: Рb 40, ЕДТА 10

Ефективність руйнування РОР та дезактивацію розчиненого кисню при УФ-опроміненні річкової води в присутності залізопероксидних систем можна пояснити одночасною дією низки факторів. Зокрема, утворення активних ОН-радикалів, які сприяють руйнуванню РОР, унаслідок фотолізу та каталітичного диспропорціонування  $\text{H}_2\text{O}_2$  набуває циклічного характеру в присутності іонів  $\text{Fe}^{3+}$ ; а активні радикали, утворені при фотолізі цитрат-іонів, активніше зв'язують розчинений кисень саме в нейтральному та лужному середовищі, надлишок цитрат-іонів усуває вплив  $\text{Fe}^{3+}$ , що заважає [3]. Дещо занижені результати у випадку «мокрого озонення» (рис. 2, крива 7) можна пояснити втратами плумбуму під час нагрівання проби [11].

У таблиці 1 наведено результати ІВА визначення в модельних розчинах загального вмісту плумбуму (після фотодеструкції за методом II і способом «мокрого озонення») та його незв'язаних із РОР форм (без попередньої пробопідготовки).

**Таблиця 1**

**Результати визначення добавок Рb в імітаті річкової води (1–4) та в річковій воді**

№ з/п	Вміст ЕДТА, мкг/л	Вміст Рb, мкг/л			
		введено	знайдено		
				без обробки	після обробки
					спосіб II «мокре озонення»
1	50	10	не знайдено	10 ± 2	9 ± 2
2	10	10	3 ± 1	10 ± 2	9 ± 2
3	50	100	66 ± 9	101 ± 12	95 ± 14
4*	–	50	15 ± 2	53 ± 8	48 ± 7
5**	–	–	4 ± 1	62 ± 9	60 ± 9
6**	–	20	6 ± 1	80 ± 12	77 ± 12

\* – введено 3 мг/л гумінових речовин; \*\* – річкова вода.

Отримані дані свідчать про задовільну правильність та відтворюваність запропонованої методики. У результаті проведеної роботи встановлено, що в досліджених зразках води містилося 7 % Рb у вигляді вільних іонів, і це цілком узгоджується з даними літератури [10].

**Висновки.** Оптимізовано умови ІВА визначення Рb при рН 6,0, що дає змогу застосовувати чутливий ІВА метод для аналізу природних вод без порушення природного співвідношення його різних форм. Показано ефективність дії УФ-опромінення в присутності 0,3 М солі мурашиної кислоти для дезактивації розчиненого кисню, а в присутності реактиву Фентона – для руйнування природних РОР. Розроблено методику визначення в природних водах вмісту «вільних» та зв'язаних в комплекси у РОР плумбуму.

#### Джерела та література

1. Волкова В. Н. Выбор условий и оценка метрологических характеристик определения тяжелых металлов в природных и сточных водах методом инверсионной вольтамперометрии с УФ-облучением / В. Н. Волкова, Э. А. Захарова, Л. А. Хустенко // Укр. хим. журн. – 1987. – Т. 42, № 2. – С. 246–251.

2. Гідрохімічний довідник. Поверхневі води України. Гідрохімічні розрахунки, методи аналізу / В. І. Осадчий, Б. Й. Набиванець, Н. М. Осадча, Ю. Б. Набиванець. – К. : Ніка-центр, 2008. – 655 с.
3. Захарова Э. А. Инверсионная вольтамперометрия с УФ-облучением. Механизм дезактивации растворенного кислорода / Э. А. Захарова, В. Н. Волкова // Журн. аналит. химии. – 1984. – Т. 47, № 4. – С. 636–641.
4. Комплексообразующая способность органических веществ поверхностных вод как составная часть «буферной емкости» водных экосистем / П. Н. Линник, Б. Й. Набиванец, И. В. Искра, Н. И. Чубарь // Гидробиол. журн. – 1994. – Т. 30, № 5. – С. 87–99.
5. Коростелев П. П. Приготовление растворов для химико-аналитических работ / П. П. Коростелев. – М. : Изд-во АН СССР, 1962. – 379 с.
6. Линник П. Н. Методические рекомендации по определению форм миграции ионов металлов в природных водах / П. Н. Линник, Б. И. Набиванец. – Киев : Наук. думка, 1980. – 50 с.
7. Линник П. Н. Применение метода инверсионной вольтамперометрии для определения свободных и связанных в комплексы ионов цинка и свинца в природных водах / П. Н. Линник, Ю. Б. Набиванец // Гидробиол. журн. – 1988. – Т. 24, № 1. – С. 68–71.
8. Мур Дж. В. Тяжелые металлы в природных водах : пер. с англ. / Дж. В. Мур, С. Рамамурти. – М. : Мир, 1987. – 288 с.
9. Орлов Д. С. Химия почв / Д. С. Орлов. – М. : МГУ, 1992. – 376 с.
10. Роева Н. Н. Специфические особенности поведения тяжелых металлов в различных природных средах / Н. Н. Роева, Ф. Я. Ровинский, Э. Я. Кононов // Журн. аналит. химии. – 1996. – Т. 51, № 4. – С. 384–397.
11. Фотохимическая пробоподготовка при определении тяжелых металлов в торфе методом инверсионной вольтамперометрии с УФ-облучением / Л. Я. Даниэль, Э. А. Захарова, Н. Б. Голоскокова, В. В. Шелковников // Журн. аналит. химии. – 1992. – Т. 47, № 3. – С. 448–455.
12. Andrew R. W. Effects of inorganic complexing on the toxicity of copper to *Daphnia magna* / R. W. Andrew, K. E. Biesenger, G. E. Glass // Water Res. – 1977. – Vol. 11, № 3. – P. 309–317.
13. Batley G. E. Trace Element Speciation: Analytical Methods and Problems / G. E. Batley. – Boca Raton : CRC Press, 1989. – 467 p.
14. Comparison of Analytical Techniques for Dynamic Trace Metal Speciation in Natural Freshwaters / L. Sigg, F. Black, J. Suffle all // Environ. Sci. Technol. – 2006. – Vol. 40. – P. 1934–1941.
15. Florence T. M. Electrochemical Approaches to Trace Element Speciation in Waters A Review / T. M. Florence // Analyst. – 1986. – Vol. 111, N 5. – P. 489–505.
16. Mota A. M. Electrochemical Methods for Speciation of Trace Elements in Marine Waters. Dynamic Aspects / A. M. Mota, J. P. Pinheiro, M. L. Simões Gonçalves // J. Phys. Chem. – 2012. – Vol. A, N 116. – P. 6433–6442.
17. Nriagu J. O. Copper in the environment: in II parts / J. O. Nriagu. – New York, 1979.
18. Pei J. Simultaneous Determination and Speciation of Zinc, Cadmium, Lead, and Copper in Natural Water with Minimum Handling and Artifacts, by Voltammetry on a Gel-Integrated Microelectrode Array / J. Pei, M.-L. Terrier-Waeber, J. Buffle // Anal. Chem. – 2000. – Vol. 72. – P. 161–171.
19. Rapsomanikis S. Speciation of Lead and Methyllead Ions in Water by Chromatography/Atomic Absorption Spectrometry after Ethylation with Sodium Tetraethylborate / S. Rapsomanikis, F. X. Donard, J. H. Weber // Anal. Chem. – 1986. – Vol. 58. – P. 35–38.
20. Sunda W. G. The relationship between cupric ion activity and the toxicity of copper to phytoplankton / W. G. Sunda, R. R. Guillard // Journ. Mar. Res. – 1976. – Vol. 34, № 5. – P. 511–529.

**Смык Наталия.** Инверсионно-вольтамперометрическое определение сосуществующих в природных водах форм свинца. Проведено сравнение результатов расчета содержания сосуществующих в водах форм свинца с результатами его определения ИВА методом в условиях, которые не нарушают их природное равновесие. Показана эффективность УФ-облучения раствора в присутствии  $\text{Fe}^{3+}$ – $\text{H}_2\text{O}_2$  систем для деструкции устойчивых комплексов с растворимыми органическими веществами. Разработана методика отдельного определения общего содержания Pb и содержания его наиболее токсичных «свободных» форм с  $\text{PrO}$  3 мкг/л.

**Ключевые слова:** свинец, сосуществующие формы, метод инверсионной вольтамперометрии.

**Smyk Natalya.** The Stripping-voltammetry Determination of Coexisting Forms of Lead in Natural Waters.

The results of calculation of coexisting forms of Pb in waters were compared with the results of its determination by IVA method in conditions that do not violate the natural balance. The efficiency of UV-irradiation of the solution in the presence of  $\text{Fe}^{3+}$ – $\text{H}_2\text{O}_2$  systems for the destruction of stable Pb complexes with soluble organic substances was shown. The method of separate determination of total Pb content and its most toxic “free” forms content with  $\text{DL}$  3 ppm was worked out.

**Key words:** Lead, Coexisting Forms, Stripping-Voltammetry Method.

Київський національний університет  
імені Тараса Шевченка

Стаття надійшла до редколегії  
06.03.2013 р.